

(19)



(11)

**EP 3 362 671 B1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:  
**17.07.2019 Patentblatt 2019/29**

(51) Int Cl.:  
**F02M 63/00** (2006.01) **F02M 51/06** (2006.01)  
**F02M 61/08** (2006.01) **F02M 61/16** (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16779084.9**

(86) Internationale Anmeldenummer:  
**PCT/EP2016/074182**

(22) Anmeldetag: **10.10.2016**

(87) Internationale Veröffentlichungsnummer:  
**WO 2017/063988 (20.04.2017 Gazette 2017/16)**

**(54) PIEZO-INJEKTOR ZUR KRAFTSTOFFEINSPRITZUNG**

PIEZOELECTRIC INJECTOR FOR FUEL INJECTION

INJECTEUR PIÉZOÉLECTRIQUE POUR L'INJECTION DE CARBURANT

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB  
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO  
PL PT RO RS SE SI SK SM TR**

(30) Priorität: **14.10.2015 DE 102015219912**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
**22.08.2018 Patentblatt 2018/34**

(73) Patentinhaber: **Continental Automotive GmbH  
30165 Hannover (DE)**

(72) Erfinder:  
• **SCHMUTZLER, Gerd**  
93105 Tegernheim (DE)  
• **HEUKENROTH, Christoph**  
10315 Berlin (DE)

(56) Entgegenhaltungen:  
**DE-A1-102005 040 912 DE-A1-102013 219 225**  
**US-A1- 2003 127 617**

**EP 3 362 671 B1**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft einen Piezo-Injektor zur Kraftstoffeinspritzung, insbesondere zur Kraftstoffdirekteinspritzung in einen Verbrennungsmotor.

**[0002]** Aus der DE 10 2013 219 225 A1 ist ein Piezo-Injektor zur Kraftstoffdirekteinspritzung bekannt, der eine hydraulische Kopplereinheit zwischen dem Piezo-Aktuator und der Düsennadel aufweist. Der hydraulische Koppler weist einen Kopplerkolben, einen Kopplerzylinder und eine Kopplerfeder auf, wobei der Kopplerkolben mittels der Kopplerfeder gegen eine dem Kopplerkolben zugewandte Stirnseite der Düsennadel gedrückt wird.

**[0003]** Bei einem derartigen Piezo-Injektor werden die Befüllung und der Druckausgleich des Kopplervolumens durch das Paarungsspiel zwischen Kopplerkolben und Kopplerzylinder gewährleistet. Das Paarungsspiel wird möglichst klein ausgelegt, damit der Koppler über eine Ansteuerzeit von bis zu 5 ms den Nadelhub nahezu konstant hält. Allerdings erfordert der Druckausgleich zwischen dem Kopplervolumen und dem umgebenden Kraftstoffvolumen bei einem derart geringen Paarungsspiel eine gewisse Zeit, was in Abhängigkeit von der Zeitdauer bis zum nächsten Einspritzvorgang zur Beeinflussung der Kopplerfunktion in Bezug auf den übertragenen Hub führt. Das Kopplervolumen zwischen Kopplerzylinder und Kopplerkolben kann somit möglicherweise nicht schnell genug aufgefüllt werden.

**[0004]** Teilweise wird bereits versucht, durch die Anbringung einer Bohrung mit Rückschlagventil im Kopplerkolben oder im Kopplerzylinder eine raschere Befüllung des Kopplervolumens nach einem Einspritzvorgang zu erreichen. Dies ist jedoch aufwändig. Zudem kann es zu Problemen mit unerwünschten Resonanzen an dem Ventil kommen.

**[0005]** US 2003/127617 A1 offenbart ein Ventil zum Steuern von Fluiden für Speichereinspritzsysteme, beinhaltend einen hydraulischen Koppler und einen piezoelektrischen Aktuator. Der hydraulische Koppler beinhaltet einen ersten Kolben, einen zweiten Kolben und eine Kopplungskammer, die zwischen den beiden Kolben angeordnet ist. Der piezoelektrische Aktuator ist in Verbindung mit dem ersten Kolben. Der erste Kolben ist im Wesentlichen becherförmig ausgeführt, und der zweite Kolben ist in einer Aussparung im ersten Kolben angeordnet. Die Kopplungskammer ist zwischen dem zweiten Kolben und einem inneren Bodenbereich des ersten Kolbens angeordnet.

**[0006]** DE 10 2005 040912 A1 offenbart eine Einspritzdüse für eine Brennkraftmaschine, insbesondere eines Kraftfahrzeugs,

- mit einer in einen Düsenkörper hubverstellbar gelagerten Düsennadel zum Steuern der Einspritzung von unter Einspritzdruck stehendem Kraftstoff durch wenigstens ein Spritzloch,
- mit einer Kopplerkolbenanordnung, die mit einem Aktor antriebsverbunden ist und eine Kopplerfläche

aufweist,

- wobei die Düsennadel oder ein die Düsennadel aufweisender Nadelverband eine Steuerfläche aufweist, die mit der Kopplerfläche hydraulisch gekoppelt ist.

Damit der Aktor axial kürzer bauen kann, wird vorgeschlagen,

- dass ein Mitnehmerkolben vorgesehen ist, der eine Mitnehmerfläche aufweist, die mit der Steuerfläche hydraulisch gekoppelt ist,
- dass eine Mitnehmerkopplung vorgesehen ist, die bei einem Öffnungshub des Aktors erst ab einem Schalthub Zugkräfte von der Kopplerkolbenanordnung auf den Mitnehmerkolben überträgt und den Mitnehmerkolben mitnimmt.

**[0007]** Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Piezo-Injektor anzugeben, der auch im Falle von Mehrfacheinspritzungen zuverlässig und gleichzeitig robust ist.

**[0008]** Diese Aufgabe wird gelöst durch den Gegenstand des Patentanspruchs 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

**[0009]** Gemäß einem Aspekt der Erfindung wird ein Piezo-Injektor zur Kraftstoffeinspritzung angegeben, der eine Düseneinheit mit einer in einem Düsenkörper beweglich angeordneten Düsennadel, eine piezo-elektrische Aktuatereinheit sowie eine hydraulische Kopplereinheit zur Kopplung der Düseneinheit mit der Aktuatereinheit umfasst. Die hydraulische Kopplereinheit weist einen Kopplerkolben, einen Kopplerzylinder und eine Kopplerfeder auf.

**[0010]** Der Kopplerkolben hat eine dem Kopplerzylinder zugewandte Oberseite und eine der Düsennadel zugewandte Unterseite. Insbesondere ist der Kopplerzylinder zur Düsennadel hin offen, vorzugsweise so dass der Kopplerkolben frei liegt. An der von der Düsennadel abgewandten Seite hat der Kopplerzylinder einen Boden. Dass die Oberseite des Kopplerkolbens dem Kopplerzylinder zugewandt ist, bedeutet insbesondere, dass die Oberseite dem Boden des Kopplerzylinders zugewandt ist. Zwischen dem Boden des Kopplerzylinders und der Oberseite des Kopplerkolbens ist das Kopplervolumen ausgebildet.

**[0011]** Der Kopplerkolben wird durch die Kopplerfeder gegen eine der Unterseite des Kopplerkolbens zugewandte Stirnseite der Düsennadel gedrückt und weist eine Berührungsfläche mit der Düsennadel auf. Der Kopplerkolben weist eine Durchgangsöffnung auf, die eine Fließverbindung von seiner Unterseite bis zu seiner Oberseite bereitstellt und die innerhalb der Berührungsfläche mit der Düsennadel angeordnet ist.

**[0012]** Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung erstreckt sich die Durchgangsöffnung von einer Mündung an der Oberseite bis zu einer Mündung an der Unterseite

durch den Kopplerkolben. Dass die Durchgangsöffnung innerhalb der Berührungsfläche mit der Düsennadel angeordnet ist bedeutet dabei insbesondere, dass die an der Unterseite angeordnete Mündung der Durchgangsöffnung in Draufsicht auf die Stirnseite vollständig mit der Düsennadel überlappt. Insbesondere sind die Stirnseite der Düsennadel und die Unterseite des Kopplerkolbens derart ausgebildet und angeordnet, dass die an der Unterseite angeordnete Mündung der Durchgangsöffnung mittels der Stirnseite der Düsennadel verschließbar ist.

**[0013]** Bei einer zweckmäßigen Ausgestaltung ist die piezo-elektrische Aktuatoreinheit mechanisch mit dem Kopplerzylinder verbunden, insbesondere starr verbunden, so dass eine Längenänderung der piezo-elektrischen Aktuatoreinheit eine Verschiebung des Kopplerzylinders entlang einer Längsachse bewirkt. Mittels des im Kopplervolumen enthaltenen Fluids ist so eine axiale Kraft auf den Kopplerkolben übertragbar, welche dieser mittels seines formschlüssigen Kontakts als Betätigungskraft auf die Ventalnadel überträgt um die Ventalnadel aus der Schließstellung zu einer Öffnungsstellung hin zu bewegen.

**[0014]** Bei diesem Piezo-Injektor wird demnach eine Auffüllung des Kopplervolumens durch die Durchgangsöffnung im Kopplerkolben dann ermöglicht, wenn die Düsennadel von der Unterseite des Kopplerkolbens abgehoben ist und die Durchgangsöffnung somit freigibt. Dies ist typischerweise nach dem Einspritz-Ende der Fall, wobei die Kompensatorfeder unter Berücksichtigung der druckbeaufschlagten Fläche am Kolben derart schwach ausgelegt ist, dass ein solcher Zustand mit niedriger Kraft zwischen Kolben und Düsennadel nach dem Einspritz-Ende eintritt. Da während der Dauer der Einspritzung eine Leckage von Kraftstoff aus dem Kopplervolumen aufgetreten ist, hat sich der axiale Abstand zwischen dem Kopplerkolben und Kopplerzylinder - insbesondere der Abstand zwischen der Oberseite des Kopplerkolbens und dem Boden des Kopplerzylinders - verringert, so dass ein axialer Spalt zwischen der Düsennadel und dem Kopplerkolben entsteht. Der Begriff "axial" bezieht sich dabei insbesondere auf die gemeinsame Längsachse von Kopplerzylinder, Kopplerkolben und Düsennadel. Die Nadel ist somit von dem Kopplerkolben abgehoben. Das Zuströmen von Kraftstoff in das Kopplervolumen kann erfolgen.

**[0015]** Es findet demnach nach Einspritz-Ende ein schneller Druckausgleich im Kopplervolumen statt. Demzufolge ist die Funktion der hydraulischen Kopplereinheit nicht mehr abhängig vom zeitlichen Abstand zwischen den Einspritzungen, sondern steht sehr schnell wieder zur Verfügung. Zudem verbessert die Durchgangsöffnung im Kopplerkolben die Befüllbarkeit des Kopplervolumens nach der Erstmontage oder im Servicefall nach einem Wechsel des Injektors. Die hydraulische Kopplereinheit ist insbesondere im Düsenkörper angeordnet und das Kopplervolumen ist mittels des durch den Düsenkörper zum Kraftstoffauslass strömenden Kraftstoffs befüllbar.

**[0016]** Trotz eines geringen Paarungsspiels, das einen konstanten Nadelhub über eine Ansteuerzeit von bis zu 5 ms ermöglicht, kann der Druckausgleich im Kopplervolumen somit schnell erfolgen. Unter dem Paarungsspiel wird im vorliegenden Zusammenhang insbesondere das laterale Paarungsspiel - insbesondere zwischen einer umlaufenden Seitenwand des Kopplerzylinders und der Außenfläche des Kopplerkolbens verstanden.

**[0017]** Unter einer Berührungsfläche des Kopplerkolbens mit der Düsennadel wird hier und im Folgenden eine Fläche auf der Oberfläche des Kopplerkolbens, insbesondere auf seiner der Düsennadel zugewandten Unterseite, verstanden, die durch die Düsennadel kontaktiert wird. Abhängig von der Geometrie des Kopplerkolbens und der Düsennadel kann die Berührung auch entlang einer Linie, insbesondere einer Kreislinie, erfolgen, so dass sich eine Dichtkante zwischen dem Kopplerkolben und der Düsennadel ausbildet. Unter der Berührungsfläche wird dann die durch diese Linie umschlossene Oberfläche des Kopplerkolbens verstanden.

**[0018]** Die Durchgangsöffnung im Kopplerkolben ist typischerweise vollständig durch die Düsennadel abdichtbar. Die Durchgangsöffnung bildet somit zusammen mit der Düsennadel ein Ventil, das öffnet, wenn durch die Leckage von Kraftstoff aus dem Kopplervolumen am Einspritzend ein Spalt zwischen Kopplerkolben und Düsennadel bestehen bleibt.

**[0019]** Zur Ausgestaltung der Geometrie von Kopplerkolben und Stirnseite der Düsennadel gibt es zahlreiche Möglichkeiten. Insbesondere können die Berührungsfläche und die Stirnseite der Düsennadel eben, konvex oder konkav ausgebildet sein. Diese verschiedenen Arten der Ausbildung und insbesondere ihre Kombination beeinflussen das Einströmverhalten von Kraftstoff.

**[0020]** Insbesondere kann über den Durchmesser einer Dichtkante zwischen Kolben und Düsennadel die zum Druckausgleich zur Verfügung stehende radiale Strömungsfläche unabhängig vom Durchmesser der Durchgangsöffnung selbst vergrößert oder verkleinert werden. Zudem ist es möglich, durch eine geeignete Ausgestaltung der Berührungsflächen zwischen Düsennadel und Kolben eine Zentrierung und/oder einen Winkel ausgleich beider Bauteile zueinander zu ermöglichen.

**[0021]** Eine eben ausgebildete Berührungsfläche und eine eben ausgebildete Stirnseite der Düsennadel haben den Vorteil, dass die Herstellung besonders einfach ist. Eine konkav ausgebildete Berührungsfläche zusammen mit einer konvex ausgebildeten Stirnseite oder umgekehrt eine konvex ausgebildete Berührungsfläche im Zusammenhang mit einer konkav ausgebildeten Stirnseite hat den Vorteil, dass eine Zentrierung von Kopplerkolben und Düsennadel erfolgt.

**[0022]** Die Stirnseite und/oder die Berührungsfläche kann insbesondere sphärisch oder konisch ausgebildet sein.

**[0023]** Die Düsennadel ist insbesondere nach außen öffnend ausgebildet. Dazu kann der Nadelsitz der Düsennadel als Kegelmantelfläche ausgebildet sein, die im

Düsenkörper gegen eine Hohlkegelfläche gedrückt wird, so dass eine Dichtfunktion erzielt wird.

**[0024]** In einer Ausführungsform ist in der hydraulischen Kopplereinheit zwischen Kopplerzylinder und dem Kopplervolumen ein Kraftstofffilm mit einer Dicke im Bereich von 0,01 mm bis 0,7 mm angeordnet. Der Kraftstofffilm stellt insbesondere das Kopplervolumen dar. Der Kraftstofffilm ist insbesondere zwischen der Oberseite des Kopplerkolbens und dem Boden des Kopplerzylinders angeordnet. Die Dicke des Kraftstofffilms wird so klein wie möglich gewählt, so dass der hydraulische Koppler eine möglichst große Steifigkeit aufweist. Die minimale Dicke der Schicht wird bestimmt durch die erforderlichen Montagetoleranzen und die Längenänderungsunterschiede zwischen dem piezo-elektrischen Aktuator und dem Injektorkörper bei Temperaturänderung infolge der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen dem piezo-elektrischen Aktuator und dem Material des Injektorkörpers, insbesondere Stahl.

**[0025]** In einer Ausführungsform beträgt das Paarungsspiel - insbesondere das laterale Paarungsspiel - zwischen Kopplerzylinder und Kopplerkolben höchstens 10 µm, insbesondere höchstens 2 µm. Mit einem derart geringen Paarungsspiel ist sichergestellt, dass die hydraulische Kopplereinheit den Nadelhub über eine Ansteuerzeit von bis zu 5 ms nahezu konstant hält.

**[0026]** Ausführungsformen der Erfindung werden im Folgenden anhand von schematischen Zeichnungen näher erläutert.

- Figur 1 zeigt einen Längsschnitt durch einen Piezo-Injektor gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung;
- Figur 2 zeigt einen Längsschnitt durch einen Piezo-Injektor gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;
- Figur 3 zeigt einen Längsschnitt durch einen Piezo-Injektor gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung;
- Figur 4 zeigt einen Längsschnitt durch einen Piezo-Injektor gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung;
- Figur 5 zeigt ein Detail eines Piezo-Injektors gemäß einer fünften Ausführungsform der Erfindung;
- Figur 6 zeigt ein Detail eines Piezo-Injektors gemäß einer sechsten Ausführungsform der Erfindung;
- Figur 7 zeigt ein Detail eines Piezo-Injektors gemäß einer siebten Ausführungsform der Erfindung;

Figur 8 zeigt ein Detail eines Piezo-Injektors gemäß einer achten Ausführungsform der Erfindung;

5 Figur 9 zeigt ein Detail eines Piezo-Injektors gemäß einer neunten Ausführungsform der Erfindung;

10 Figur 10 zeigt ein Detail eines Piezo-Injektors gemäß einer zehnten Ausführungsform der Erfindung;

Figur 11 zeigt ein Detail eines Piezo-Injektors gemäß einer elften Ausführungsform der Erfindung;

15 Figur 12 zeigt ein Detail eines Piezo-Injektors gemäß einer zwölften Ausführungsform der Erfindung und

20 Figur 13 zeigt ein Detail eines Piezo-Injektors gemäß einer dreizehnten Ausführungsform der Erfindung.

**[0027]** Der Piezo-Injektor 1 gemäß Figur 1 ist in der gezeigten Ausführungsform zur Direkteinspritzung von Kraftstoff in einen Verbrennungsmotor ausgebildet. Er weist einen Kraftstoffeinlass 2 sowie einen Kraftstoffauslass 4 auf. Der Kraftstoffauslass 4 ist im geschlossenen Zustand des Piezo-Injektors 1 durch die Düsennadel 5 verschlossen. Zur Einspritzung öffnet die Düsennadel 5 nach außen und öffnet somit den Kraftstoffauslass 4.

**[0028]** Die Düsennadel 5 ist Teil der Düseneinheit 3 und ist in einem Düsenkörper 7 entlang einer Längsachse des Piezo-Injektors beweglich.

**[0029]** Die Betätigung der Düsennadel 5 erfolgt mittels einer piezo-elektrischen Aktuatoreinheit 9, die in bekannter Weise die Längenänderung eines Stapels aus piezo-elektrischen Keramikscheiben nutzt: Durch Anlegen einer Spannung wird eine Längenausdehnung des Stapels aus piezo-elektrischen Keramikscheiben bewirkt, die eine Verschiebung des Kopplerzylinders 15 in Richtung des Kopplerkolbens 13 bewirkt.

**[0030]** Die Übertragung der Kraft von der Aktuatoreinheit 9 auf die Düsennadel 5 erfolgt mittels einer hydraulischen Kopplereinheit 11. Die Kopplereinheit 11 umfasst den Kopplerkolben 13, der in dem Kopplerzylinder 15 entlang der Längsachse des Piezo-Injektors 1 beweglich gelagert ist. Der Kopplerkolben 13 wird mittels der Kopplerfeder 17 gegen eine dem Kopplerkolben 13 zugewandte Stirnseite 23 der Düsennadel 5 gedrückt. Auf diese Weise wird eine praktisch spielfreie Kraftübertragung von der piezo-elektrischen Aktuatoreinheit 9 über die hydraulische Kopplereinheit 11 auf die Düsennadel 5 gewährleistet: Zwischen dem Kopplerkolben 13 und dem Kopplerzylinder 15 ist ein Kraftstoffvolumen - das Kopplervolumen - abgeordnet, das wegen des sehr geringen Spiels nicht entweichen kann, wenn er durch eine Bewegung des Kopplerzylinders 15 verdrängt wird. Daher folgt

der Kopplerkolben 13 der Bewegung des Kopplerzylinders 15 und drückt die Düsennadel 5 aus ihren Dichtsitz.

**[0031]** Da zur Betätigung der Düsennadel 5 die Kraftresultierende aus Düsenfederkraft, Druckkraft auf den Dichtsitzdurchmesser und Kopplerfederkraft überwunden werden muss, ist der Druck im Kopplervolumen anschließend nicht mehr gleich dem Druck im Injektor, sondern übersteigt diesen. Daher würde es vor allem bei längeren Ansteuerdauern zu einer Fluidleckage vom Kopplervolumen in das umgebende Injektorvolumen kommen, so dass der Kopplerkolben 13 in Richtung des Kopplervolumens einsinken würde. Die Düsennadel 5 würde dieser Bewegung folgen. Die Fluidleckage und das Einsinken kann durch einen möglichst kleinen Dichtspalt zwischen Kopplerkolben 13 und Kopplerzylinder 15 reduziert werden.

**[0032]** Am Ende einer Einspritzung wird die piezoelektrische Aktuatoreinheit 9 entladen und der Stapel aus piezo-elektrischen Keramikscheiben verkürzt sich wieder auf seine Ausgangslänge. Der Kopplerzylinder 15 folgt dieser Bewegung. Das durch den kleinen Dichtspalt isolierte Kopplervolumen kann sich nicht vergrößern, so dass der Kopplerkolben 13 der Bewegung des Kopplerzylinders 15 folgt.

**[0033]** Da nun auf die Oberseite der Düsennadel 5 keine Betätigungskraft mehr wirkt, folgt die Düsennadel 5 ebenfalls der Rückwärtsbewegung und gelangt zurück auf ihren Dichtsitz.

**[0034]** Da während der Dauer der Einspritzung wie oben beschrieben eine Leckage aus dem Kopplervolumen aufgetreten ist, hat sich der axiale Abstand zwischen Kopplerkolben 13 und Kopplerzylinder 15 verringert. Somit wird die Ausgangssituation, in der die Düsennadel 5 und der Kopplerkolben 13 miteinander in Kontakt stehen, nicht wieder erreicht. Vielmehr bleibt ein axialer Spalt zwischen diesen beiden Bauteilen bestehen. Dieser Spalt wird, wie im Folgenden beschrieben, zusammen mit einer Durchgangsöffnung durch den Kopplerkolben 13 zur Wiederbefüllung des Kopplervolumens genutzt. Ansonsten wäre eine Wiederbefüllung ausschließlich durch den Dichtspalt möglich, der aber aus den genannten Gründen möglichst klein ausgeführt wird. Es würde somit deutlich mehr Zeit vergehen, bis das Kopplervolumen wieder soweit aufgefüllt wäre, dass Kopplerkolben 13 und Düsennadel 5 wieder in Kontakt miteinander stehen.

**[0035]** Der Kontaktbereich zwischen dem Kopplerkolben 13 und der Düsennadel 5 ist in der rechten Hälfte von Figur 1 im Detail gezeigt. Der Kopplerkolben 13 weist eine Berührungsfläche 21 mit der Düsennadel 5 auf, die einen Teilbereich der Unterseite 28 darstellt und die in der gezeigten Ausführungsform eben ist. Die Stirnseite 23 der Düsennadel 5 ist ebenfalls eben. In den Kopplerkolben 13 ist eine Durchgangsöffnung 25 in Form einer Durchgangsbohrung eingebracht, die den Kopplerkolben 13 von einer Mündung an seiner Unterseite 28, an der er Kontakt mit der Düsennadel 5 hat, bis zu einer Mündung an seiner Oberseite 26 durchdringt und eine

Fließverbindung für Kraftstoff von seiner Unterseite 28 bis zu seiner Oberseite 26 bereitstellt. Zwischen der Oberseite 26 des Kopplerkolbens 13 und einer Unterseite - d.h. dem Boden - des Kopplerzylinders 15 ist das Kopplervolumen in Form eines Kraftstofffilms angeordnet. Durch die Durchgangsöffnung 25 kann, wenn die Düsennadel 5 von der Berührungsfläche 21 abgehoben ist, Kraftstoff in das Kopplervolumen einströmen und dieses auffüllen, wodurch ein Druckausgleich zwischen dem Kopplervolumen und dem übrigen Kraftstoffvolumen innerhalb des Piezo-Injektors gewährleistet ist.

**[0036]** Im Betrieb öffnet der Piezo-Injektor für eine Kraftstoffeinspritzung nach außen, indem die Düsennadel 5 durch die Aktuatoreinheit 9 betätigt wird. Dabei erfolgt die Kraftübertragung von der Aktuatoreinheit 9 auf die Düsennadel 5 mittels der hydraulischen Kopplereinheit 11. Dazu befindet sich zwischen der Oberseite 26 des Kopplerkolbens 13 und dem Kopplerzylinder 15 eine dünne Kraftstoffschiicht mit einer Dicke zwischen 0,05 mm und 0,3 mm.

**[0037]** Mittels der Kraftstoffschiicht wird eine Kraft von der am Kopplerzylinder 15 angreifenden Aktoreinheit 9 hydraulisch auf den Kopperkolben 13 übertragen. Dieser überträgt mittels der formschlüssigen Verbindung seiner Berührungsfläche 21 mit der Stirnseite 23 der Düsennadel 5 die auf ihn übertragene Kraft an die Düsennadel 5 weiter.

**[0038]** Wenn die durch die Aktuatoreinheit 9 bereitgestellte Kraft auf die Düsennadel 5 die durch die Düsenfeder 19 bereitgestellte Schließkraft übersteigt, wird die Düsennadel 5 nach unten bewegt und der Piezo-Injektor 1 öffnet nach außen. Kraftstoff strömt durch den Kraftstoffauslass 4 nach draußen. Während dieser Öffnungsphase steigt der Druck im Kopplervolumen aufgrund der durch den Kopplerzylinder 15 ausgeübten Kraft an.

**[0039]** In der anschließenden Schließphase des Piezo-Injektors geht die durch die Aktuatoreinheit 9 bereitgestellte Kraft auf Null zurück. Die Düsenfeder 19 drückt die Düsennadel 5 zurück nach oben in ihre Schließposition. Da die Kopplerfeder 17 ausreichend schwach ausgelegt ist, kommt es nach Einspritzende zu einem Spalt zwischen dem Kopplerzylinder 15 und dem Kopplerkolben 13. Der Kopplerkolben 13 ist von der Düsennadel 5 abgehoben. Die Durchgangsöffnung 25 wird dadurch freigegeben und Kraftstoff kann aus dem Kraftstoffvolumen innerhalb des Piezo-Injektors 1 in das Kopplervolumen zwischen Kopplerzylinder 15 und Kopplerkolben 13 einströmen.

**[0040]** Wenn das Kopplervolumen wieder befüllt ist, schließt sich der Spalt und der Kopplerkolben 13 wird aufgrund der durch die Kopplerfeder 17 ausgeübten Kraft wieder auf die Stirnseite 23 der Düsennadel 5 gepresst und die Durchgangsöffnung 25 wird durch die Düsennadel 5 verschlossen.

**[0041]** Figur 2 zeigt eine zweite Ausführungsform des Piezo-Injektors 1 gemäß Figur 1. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der in Figur 1 gezeigten ersten Ausführungsform dadurch, dass die Stirnseite 23 der Dü-

sennadel 5 konvex ausgebildet ist.

**[0042]** Bei dieser Ausführungsform besteht ein Kontakt zwischen der konvexen Stirnseite 23 und dem Kopplerkolben 13 mit seiner ebenen Unterseite 28 lediglich in einem ringförmigen Bereich um die Durchgangsöffnung 25 herum. Bei dieser Ausführungsform kann eine gewisse Zentrierung der Düsennadel 5 in Bezug auf die Durchgangsöffnung 25 erfolgen.

**[0043]** Figur 3 zeigt schematisch einen Piezo-Injektor 1 gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von den in den Figuren 1 und 2 gezeigten dadurch, dass die Stirnfläche 23 der Düsennadel 5 sphärisch konvex ausgebildet ist und die Berührungsfläche 21 des Kopplerkolbens 13 konisch konkav. Dabei ist der Krümmungsradius der Stirnfläche 23 kleiner als der der Berührungsfläche 21.

**[0044]** Es könnten auch beide Flächen sphärisch oder konisch ausgebildet sein. Über eine Variation des Berührungsdurchmessers lässt sich der radiale Befüllspalt einstellen.

**[0045]** Mit dieser Ausführungsform wird eine gute Zentrierung der Düsennadel 5 in Bezug auf die Durchgangsöffnung 25 und damit auch in Bezug auf den Kopplerkolben 13 bewirkt.

**[0046]** Figur 4 zeigt einen Piezo-Injektor 1 gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von den in den vorherigen Figuren gezeigten Ausführungsformen dadurch, dass die Berührungsfläche 21 des Kopplerkolbens 13 konkav ist und die Stirnseite 23 der Düsennadel 5 eben. Bei dieser Ausführungsform berührt die Düsennadel 5 den Kopplerkolben 13 lediglich in einem kreisrunden Bereich an ihrem Rand. Bei dieser Ausführungsform steht eine verhältnismäßig große radiale Strömungsfläche für den Druckausgleich zur Verfügung.

**[0047]** Figur 5 zeigt schematisch ein Detail eines Piezo-Injektors 1 gemäß einer fünften Ausführungsform der Erfindung. Bei dieser Ausführungsform ist die Berührungsfläche 21 des Kopplerkolbens 13 eben ausgebildet, die Stirnseite 23 der Düsennadel 5 jedoch konvex, und zwar in Form einer in die Durchgangsöffnung 25 hineinragenden Kegelspitze. Bei dieser Ausführungsform wird eine Zentrierung der Düsennadel 5 erreicht.

**[0048]** Figur 6 zeigt Details eines Piezo-Injektors 1 gemäß einer sechsten Ausführungsform der Erfindung. Bei dieser Ausführungsform ist die Berührungsfläche 21 des Kopplerkolbens 13 eben ausgebildet, die Stirnseite 23 der Düsennadel jedoch konkav, und zwar in Form eines Hohlkegels. Sie könnte auch sphärisch ausgebildet sein. Bei dieser Ausführungsform wird zwar keine Zentrierung der Düsennadel 5 erreicht, jedoch eine verhältnismäßig große radiale Strömungsfläche.

**[0049]** Figur 7 zeigt ein Detail eines Piezo-Injektors 1 gemäß einer siebten Ausführungsform der Erfindung. Bei dieser Ausführungsform sind, ähnlich wie in Figur 1 gezeigt, sowohl die Berührungsfläche 21 des Kopplerkolbens 13 als auch die Stirnfläche 23 der Düsennadel 5 eben ausgebildet. Jedoch ist im Gegensatz zu der ers-

ten Ausführungsform gemäß Figur 1 eine Zentrierung der Düsennadel 5 zum Kopplerkolben 13 vorgesehen, und zwar in Form eines Rücksprungs 27 in dem Kopplerkolben 13, in den die Düsennadel 5 eintritt.

**[0050]** Die Figuren 8 bis 10 zeigen Details von Piezo-Injektoren 1 gemäß einer achten, neunten und zehnten Ausführungsform der Erfindung, bei denen jeweils die Berührungsflächen 21 des Kopplerkolbens 13 konkav ausgebildet sind, und zwar in Form eines Hohlkegels.

**[0051]** Gemäß der achten Ausführungsform gemäß Figur 8 ist gleichzeitig die Stirnfläche 23 der Düsennadel 5 konvex ausgebildet, und zwar in Form eines Kegels, dessen Öffnungswinkel dem des Hohlkegels der Berührungsfläche 21 exakt angepasst ist, so dass sich eine gute Zentrierung ergibt.

**[0052]** Gemäß der neunten Ausführungsform gemäß Figur 9 ist die Stirnfläche 23 konkav ausgebildet, und zwar in Form eines Hohlkegels. Sie könnte jedoch auch sphärisch ausgebildet sein.

**[0053]** Gemäß der zehnten Ausführungsform gemäß Figur 10 ist die Stirnfläche 23 der Düsennadel 5 eben ausgebildet.

**[0054]** Die Figuren 11 bis 13 zeigen Details von Piezo-Injektoren 1 gemäß einer elften, zwölften und dreizehnten Ausführungsform der Erfindung, bei denen jeweils die Berührungsfläche 21 des Kopplerkolbens 23 konvex ausgebildet ist, und zwar in Form eines Kegels. Die Berührungsflächen 21 könnten auch sphärisch ausgebildet sein.

**[0055]** Gemäß der elften Ausführungsform gemäß Figur 11 ist die Stirnseite 23 der Düsennadel 5 konvex ausgebildet, und zwar sphärisch. Sie könnte auch eine Kegelform aufweisen.

**[0056]** Gemäß der zwölften Ausführungsform gemäß Figur 12 ist die Stirnfläche 23 der Düsennadel 5 konkav ausgebildet, und zwar in Form eines Hohlkegels. Sie könnte auch in Form einer Hohlkugel ausgebildet sein.

**[0057]** Gemäß der dreizehnten Ausführungsform gemäß Figur 13 ist die Stirnfläche 23 der Düsennadel eben ausgebildet.

**[0058]** Die einzelnen Ausführungsformen unterscheiden sich somit lediglich durch die Geometrie der Berührungsfläche 21 des Kopplerkolbens 13 sowie der Stirnseite 23 der Düsennadel 5. Mit den unterschiedlichen Geometrien können die für den Druckausgleich zur Verfügung stehenden radialen Strömungsflächen an die Erfordernisse angepasst werden. Zudem kann nach Bedarf eine Zentrierung und/oder ein Winkelausgleich von Düsennadel und Kopplerkolben zueinander ermöglicht werden.

## Patentansprüche

1. Piezo-Injektor (1) zur Kraftstoffeinspritzung, aufweisend

- eine Düseneinheit (3) mit einer in einem Dü-

- senkörper (7) beweglich angeordneten Düsen-  
nadel (5);  
- eine piezoelektrische Aktuatoreinheit (9);  
- eine hydraulische Kopplereinheit (11) zur  
Kopplung der Düseneinheit (3) mit der Aktuator-  
einheit (9), die einen Kopplerkolben (13), einen  
Kopplerzylinder (15) und eine Kopplerfeder (17)  
aufweist, wobei der Kopplerkolben (13) eine  
dem Kopplerzylinder (15) zugewandte Obersei-  
te (26) und eine der Düsennadel (5) zugewandte  
Unterseite (28) aufweist, wobei der Kopplerzy-  
linder (15) an der von der Düsennadel (5) abge-  
wandten Seite einen Boden aufweist und ein  
Kopplervolumen zwischen dem Boden des  
Kopplerzylinders (15) und der Oberseite (26)  
des Kopplerkolbens (13) ausgebildet ist, wobei  
der Kopplerkolben (13) durch die Kopplerfeder  
(17) gegen eine der Unterseite (28) des Kopp-  
lerkolbens (13) zugewandte Stirnseite (23) der  
Düsennadel (5) gedrückt wird und eine Berüh-  
rungsfläche (21) mit der Düsennadel (5) auf-  
weist, **dadurch gekennzeichnet, daß** der  
Kopplerkolben (13) eine Durchgangsöffnung  
(25) aufweist, die eine Fließverbindung von sei-  
ner Unterseite (28) bis zu seiner Oberseite (26)  
bereitstellt und die innerhalb der Berührungsflä-  
che (21) mit der Düsennadel (5) angeordnet ist.
2. Piezo-Injektor (1) nach dem vorhergehenden An-  
spruch, wobei sich die Durchgangsöffnung (25) von  
einer Mündung an der Oberseite (26) bis zu einer  
Mündung an der Unterseite (28) durch den Koppler-  
kolben (13) erstreckt und die an der Unterseite (28)  
angeordnete Mündung der Durchgangsöffnung (25)  
mittels der Stirnseite (23) der Düsennadel (5) ver-  
schließbar ist.
3. Piezo-Injektor (1) nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
wobei die Durchgangsöffnung (25) vollständig durch  
die Düsennadel (5) abdichtbar ist.
4. Piezo-Injektor (1) nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
wobei die Berührungsfläche (21) eben ausgebildet  
ist.
5. Piezo-Injektor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
wobei die Berührungsfläche (21) konkav oder kon-  
vex ausgebildet ist.
6. Piezo-Injektor (1) nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
wobei die der Unterseite (28) des Kopplerkolbens  
zugewandte Stirnseite (23) der Düsennadel (5) eben  
ausgebildet ist.
7. Piezo-Injektor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
wobei die der Unterseite (28) des Kopplerkolbens  
zugewandte Stirnseite (23) der Düsennadel (5) kon-  
vex oder konkav ausgebildet ist.
8. Piezo-Injektor (1) nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
wobei die Stirnseite (23) und/oder die Berührungs-  
fläche (21) sphärisch ausgebildet ist.
9. Piezo-Injektor (1) nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
wobei die Stirnseite (23) und/oder die Berührungs-  
fläche (21) konisch ausgebildet ist.
10. Piezo-Injektor (1) nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
wobei die Düsennadel (5) nach außen öffnend aus-  
gebildet ist.
11. Piezo-Injektor (1) nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
wobei in der hydraulischen Kopplereinheit (11) zwi-  
schen dem Kopplerzylinder (15) und dem Koppler-  
kolben (13) ein Kraftstofffilm mit einer Dicke im Be-  
reich von 0,01 mm bis 0,7 mm zur Kraftübertragung  
angeordnet ist.
12. Piezo-Injektor (1) nach einem der vorhergehenden  
Ansprüche,  
wobei ein laterales Paarungsspiel zwischen  
Kopplerzylinder (15) und Kopplerkolben (13) höchst-  
ens 10 µm beträgt.
- Claims**
1. Piezo injector (1) for fuel injection, having
- a nozzle unit (3) with a nozzle needle (5) ar-  
ranged movably in a nozzle body (7);
  - a piezoelectric actuator unit (9);
  - a hydraulic coupler unit (11) for coupling the  
nozzle unit (3) to the actuator unit (9), which cou-  
pler unit has a coupler piston (13), a coupler cyl-  
inder (15) and a coupler spring (17), wherein the  
coupler piston (13) has a top side (26) facing  
toward the coupler cylinder (15) and has a bot-  
tom side (28) facing toward the nozzle needle  
(5), wherein, at the side averted from the nozzle  
needle (5), the coupler cylinder (15) has a base,  
and a couple a volume is formed between the  
base of the coupler cylinder (15) and the top side  
(26) of the coupler piston (13), wherein the cou-  
pler piston (13) is pushed by the coupler spring  
(17) against a face side (23), facing toward the  
bottom side (28) of the coupler piston (13), of  
the nozzle needle (5) and has a contact area  
(21) with the nozzle needle (5),

**characterized in that**

the coupler piston (13) has a passage opening (25) which provides a flow connection from the bottom side (28) of said coupler piston to the top side (26) of said coupler piston and which is arranged within the contact area (21) with the nozzle needle (5).

2. Piezo injector (1) according to the preceding claim, wherein the passage opening (25) extends through the coupler piston (13) from a mouth at the top side (26) to a mouth at the bottom side (28), and the mouth of the passage opening (25) arranged at the bottom side (28) can be closed off by means of the face side (23) of the nozzle needle (5). 10
3. Piezo injector (1) according to one of the preceding claims, wherein the passage opening (25) can be fully sealed off by the nozzle needle (5). 20
4. Piezo injector (1) according to one of the preceding claims, wherein the contact area (21) is of planar form. 25
5. Piezo injector (1) according to one of Claims 1 to 3, wherein the contact area (21) is of concave or convex form. 30
6. Piezo injector (1) according to one of the preceding claims, wherein the face side (23), facing toward the bottom side (28) of the coupler piston, of the nozzle needle (5) is of planar form. 35
7. Piezo injector (1) according to one of Claims 1 to 5, wherein the face side (23), facing toward the bottom side (28) of the coupler piston, of the nozzle needle (5) is of convex or concave form. 40
8. Piezo injector (1) according to one of the preceding claims, wherein the face side (23) and/or the contact area (21) is of spherical form. 45
9. Piezo injector (1) according to one of the preceding claims, wherein the face side (23) and/or the contact area (21) is of conical form. 50
10. Piezo injector (1) according to one of the preceding claims, wherein the nozzle needle (5) is of outwardly opening design. 55
11. Piezo injector (1) according to one of the preceding claims, wherein, in the hydraulic coupler unit (11), a fuel film with a thickness in the range from 0.01 mm to 0.7

mm is arranged, for the purposes of force transmission, between the coupler cylinder (15) and the coupler piston (13).

- 5 12. Piezo injector (1) according to one of the preceding claims, wherein a lateral pairing clearance between coupler cylinder (15) and coupler piston (13) amounts to at most 10  $\mu\text{m}$ . 10

**Revendications**

1. Injecteur piézoélectrique (1) pour l'injection de carburant, présentant 20
  - une unité de buse (3) avec un pointeau (5) disposé de façon mobile dans un corps de buse (7),
  - une unité d'actionneur piézoélectrique (9);
  - une unité de coupleur hydraulique (11) pour le couplage de l'unité de buse (3) à l'unité d'actionneur (9), qui présente un piston de coupleur (13), un cylindre de coupleur (15) et un ressort de coupleur (17), dans lequel le piston de coupleur (13) présente un côté supérieur (26) tourné vers le cylindre de coupleur (15) et un côté inférieur (28) tourné vers le pointeau (5), dans lequel le cylindre de coupleur (15) présente un fond sur le côté détourné du pointeau (5) et un volume de coupleur est formé entre le fond du cylindre de coupleur (15) et le côté supérieur (26) du piston de coupleur (13), dans lequel le piston de coupleur (13) est poussé par le ressort de coupleur (17) contre un côté frontal (23) du pointeau (5) tourné vers le côté inférieur (28) du piston de coupleur (13) et présente une face de contact (21) avec le pointeau (5), 25

**caractérisé en ce que** le piston de coupleur (13) présente une ouverture de passage (25), qui procure une liaison d'écoulement de son côté inférieur (28) jusqu'à son côté supérieur (26) et qui est disposée à l'intérieur de la face de contact (21) avec le pointeau (5). 30

2. Injecteur piézoélectrique (1) selon la revendication précédente, dans lequel l'ouverture de passage (25) s'étend à travers le piston de coupleur (13) depuis une embouchure dans le côté supérieur (26) jusqu'à une embouchure dans le côté inférieur (28) et l'embouchure de l'ouverture de passage (25) disposée dans le côté inférieur (28) peut être fermée au moyen du côté frontal (23) du pointeau (5). 35
3. Injecteur piézoélectrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'ouverture de passage (25) peut être rendue entiè-



rement étanche par le pointeau (5).

4. Injecteur piézoélectrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel la face de contact (21) est réalisée sous forme plane. 5
5. Injecteur piézoélectrique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel la face de contact (21) est réalisée sous forme concave ou convexe. 10
6. Injecteur piézoélectrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le côté frontal (23) du pointeau (5) tourné vers le côté inférieur (28) du piston de coupleur est réalisé sous forme plane. 15
7. Injecteur piézoélectrique (1) selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le côté frontal (23) du pointeau (5) tourné vers le côté inférieur (28) du piston de coupleur est réalisé sous forme convexe ou concave. 20
8. Injecteur piézoélectrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le côté frontal (23) et/ou la face de contact (21) est réalisé(e) sous forme sphérique. 25
9. Injecteur piézoélectrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le côté frontal (23) et/ou la face de contact (21) est réalisé(e) sous forme conique. 30
10. Injecteur piézoélectrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le pointeau (5) est réalisé sous forme s'ouvrant vers l'extérieur. 35
11. Injecteur piézoélectrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un film de carburant d'une épaisseur comprise dans la plage de 0,01 mm à 0,7 mm est disposé entre le cylindre de coupleur (15) et le piston de coupleur (13) pour la transmission de force. 40  
45
12. Injecteur piézoélectrique (1) selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un jeu de couplage latéral entre le cylindre de coupleur (15) et le piston de coupleur (13) vaut au maximum 10  $\mu\text{m}$ . 50

55

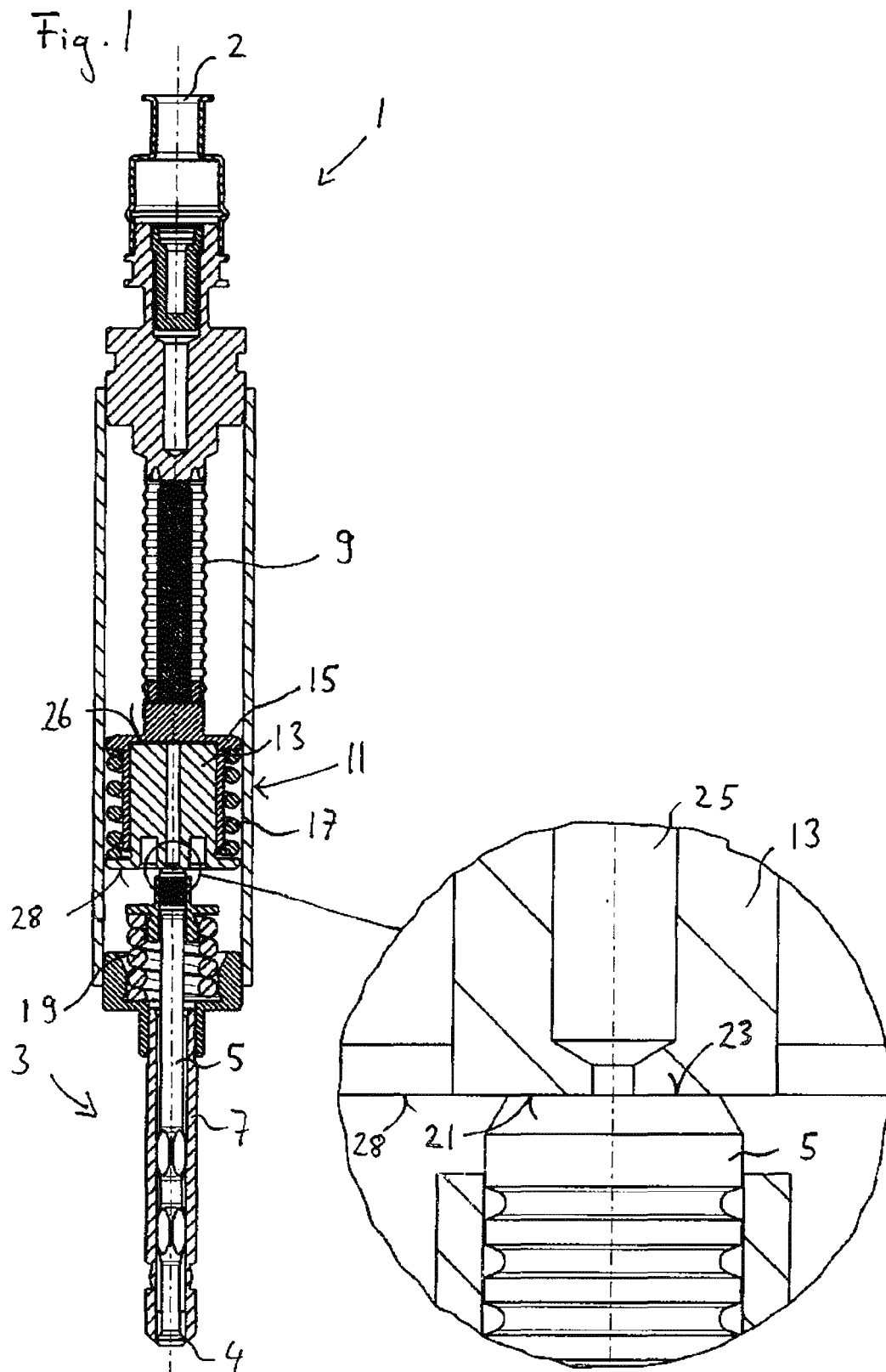


Fig. 2

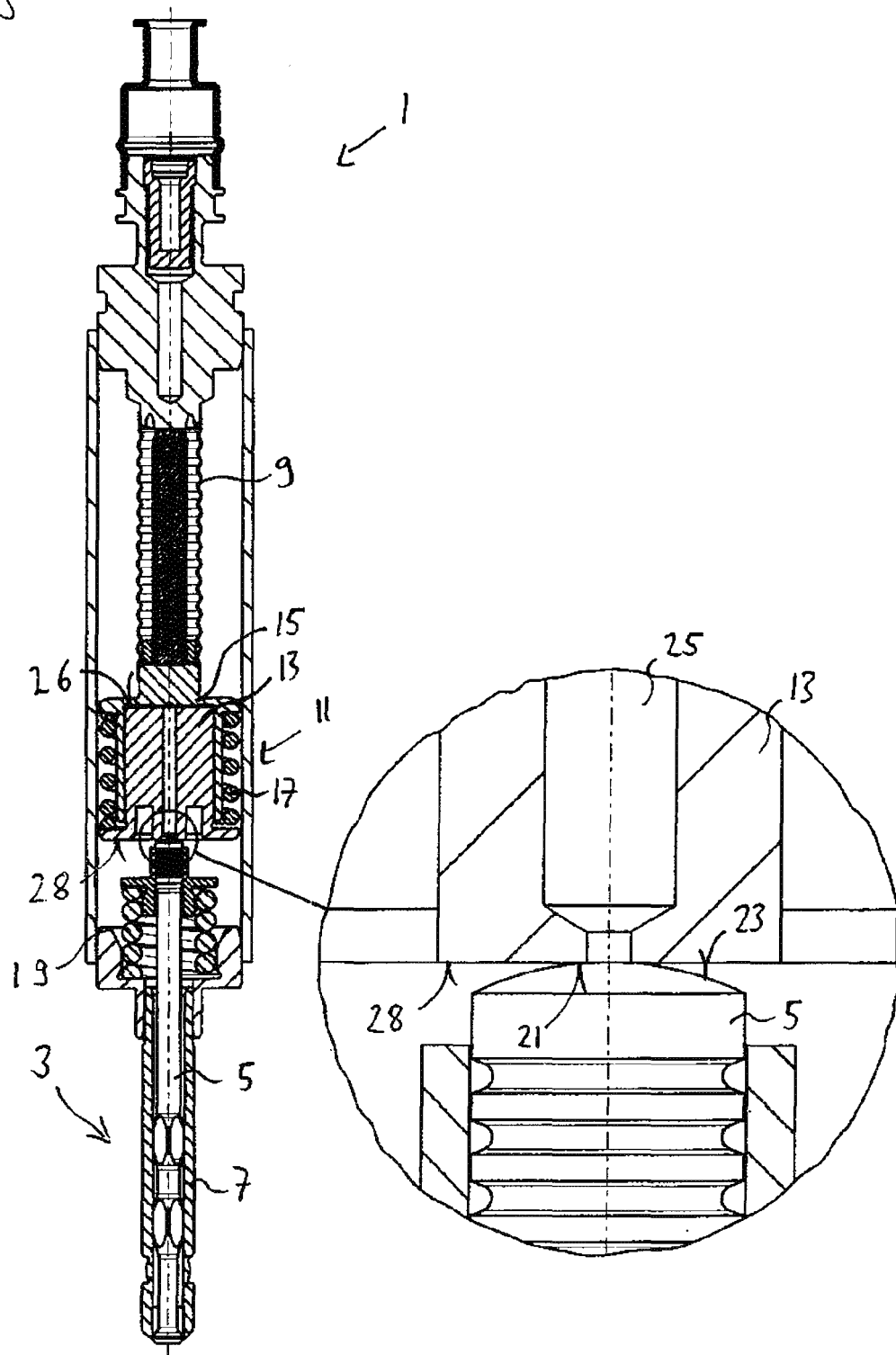
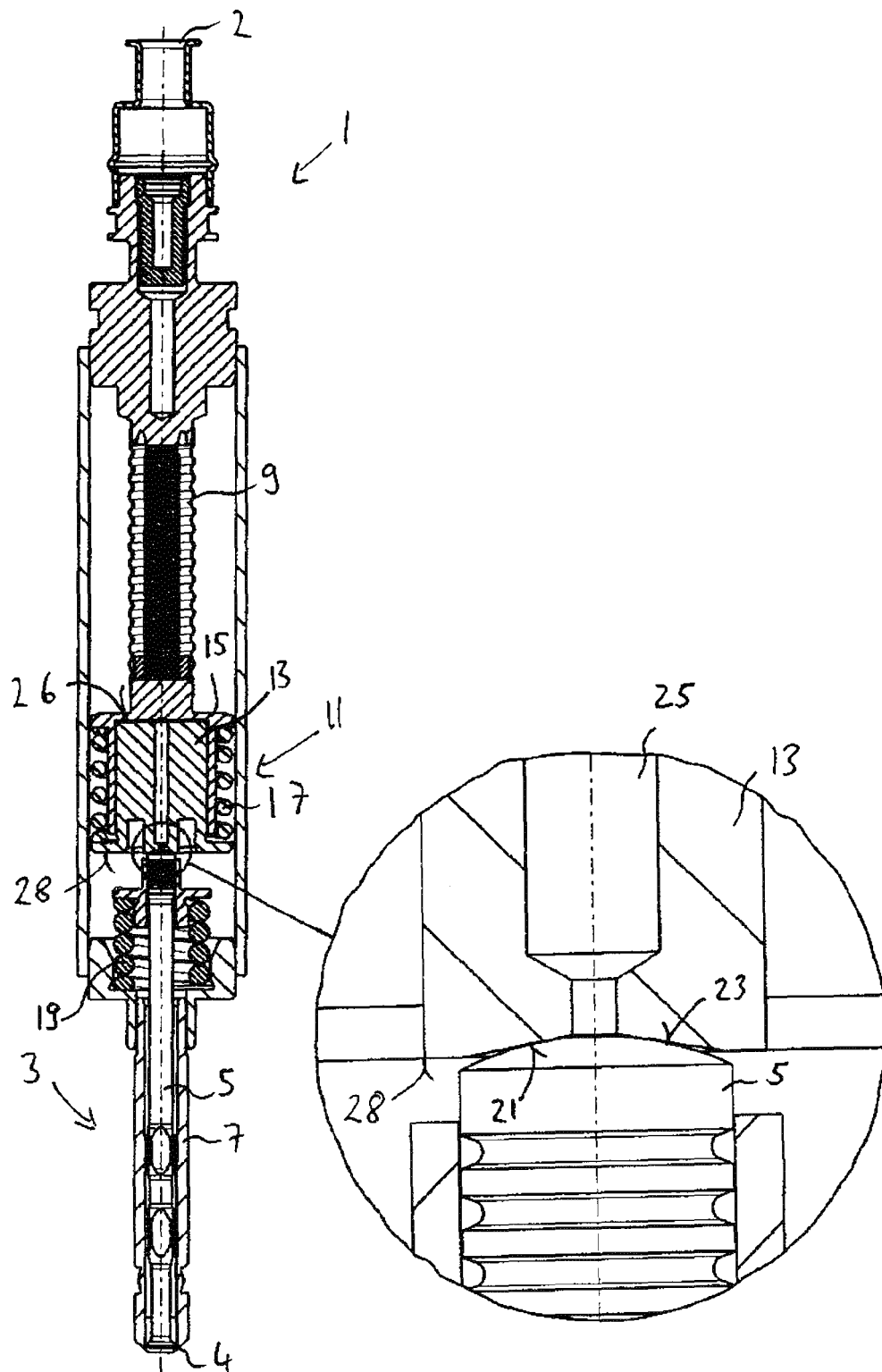


Fig. 3



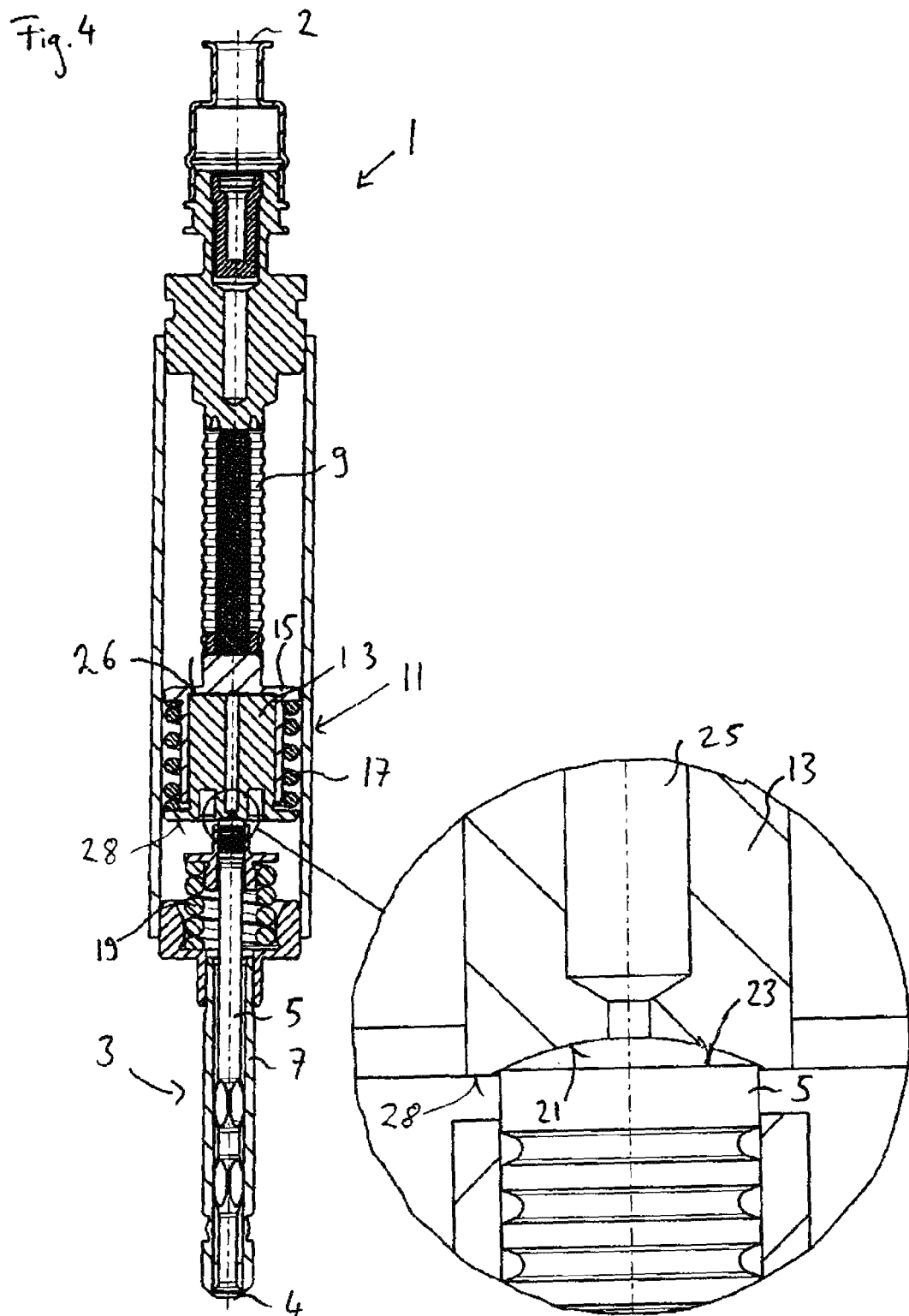


Fig. 5

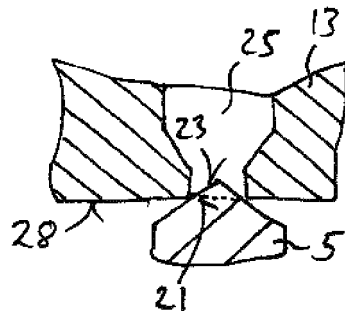


Fig. 6

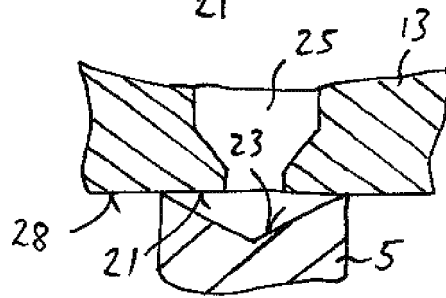


Fig. 7

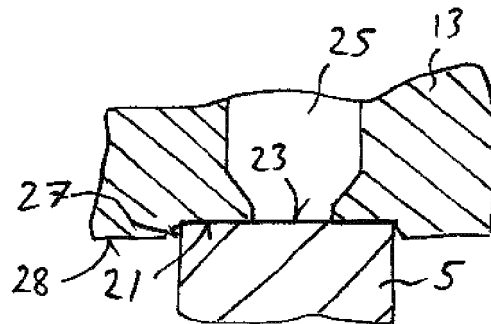


Fig. 8

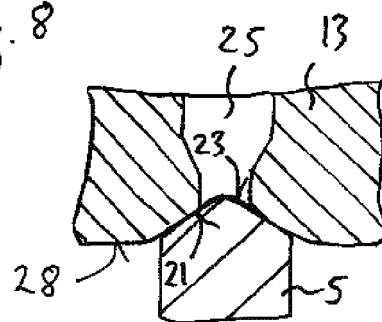


Fig. 9

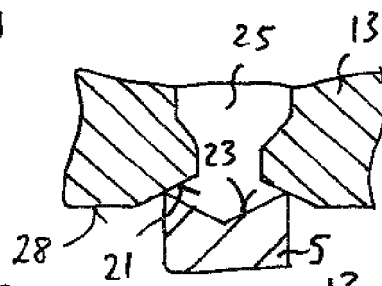
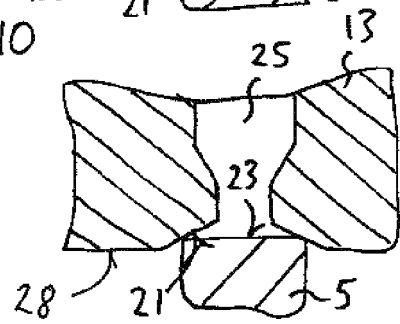
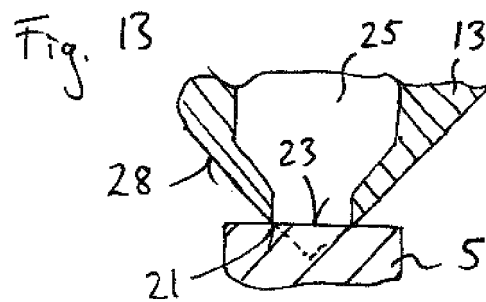
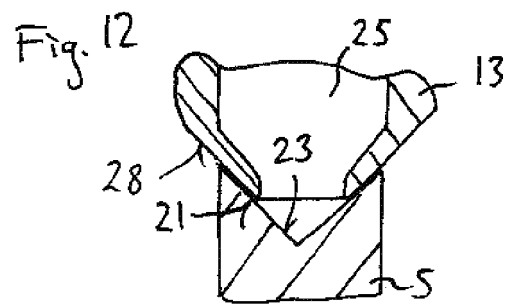
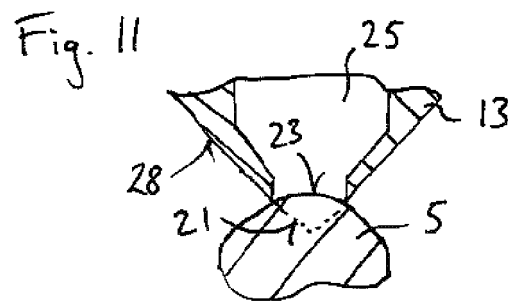


Fig. 10







**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 102013219225 A1 [0002]
- US 2003127617 A1 [0005]
- DE 102005040912 A1 [0006]